

文章编号: 1000-0550(2002)03-0409-07

# 非海相沉积层序的成因和构型特征

李继红<sup>1</sup> 魏魁生<sup>2</sup> 厉大亮<sup>2</sup> 张守鹏<sup>3</sup> 郝运轻<sup>3</sup> 邱以刚<sup>3</sup>

1(西北大学 西安 710069); 2(中国地质大学 北京 100083)

3(胜利石油管理局 山东东营 257015)

**摘要** 根据东部盆地的地质、地球物理特征,初步对非海相层序地层学应用研究进行了总结。非海相沉积层序的形成要素,既有外旋回、又有自旋回,构造和气候因素很重要,强调了环境因素。沉积基准面在海上为海平面,在陆上为潜水面、湖平面、河流平衡剖面。相对基准面的周期性变化引起了可容纳空间的周期性变化,并由之形成了一系列旋回式的层序。大多数情况下内陆基准面的变化不受海平面变化的控制,在全球最大海泛期有某种联系。湖盆小而沉积速率高,形成层序的频率高于海相。以沾化凹陷为依据,提出了5种层序构型特征:冲积—河湖型(半)盐湖—淡水湖泊过渡型,海流—深湖型,半深湖—缓坡型,河流—冲积平原型。在盆地主要发育期,断阶式坡折对沉积体系有明显的控制作用。除低水位扇外,低水位楔是构成隐蔽圈闭或复合圈闭的有利场所。

**关键词** 自旋回 环境要素 低水位楔 断阶式坡折 平衡剖面 层序构型

**第一作者简介** 李继红 女 1963年出生 副教授 博士生 油矿地质、油藏描述与层序地层

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

## 1 引言

Posamentier 和 Vail<sup>[1,2]</sup>发展的以被动大陆边缘为背景的沉积层序和体系域模式已成为当今盆地分析和隐蔽油气藏预测的一种有效技术。然而被动大陆边缘的构造沉降是近于线性变化的,决定体系域存在的因素中,构造运动是次要的,全球海平面变化上升为主导因素。非海相沉积层序形成的因素要复杂得多。尽管人们早已在非海相地层中识别出以不整合为界的地层单元,但是运用层序地层学的原理和可容纳空间的概念仍然有很大的难度。复杂化的主要因素在于成因机制。非海相基准面的变化既有全球性或区域性,又有局部性。层序的形成既有外旋回(alloccyclicity)成因又有自旋回成因。由于湖盆小,沉积物供给速率高而堆积作用强烈,在海相很明显的地质现象在陆相却变得模糊不清,给解释人员造成极大的困难。尽管如此,层序地层学在非海相沉积地层中的应用越来越广泛,越来越受到重视,但是也还有很多问题值得思索和总结。

近年来,国外对于非海相层序地层学研究也很重视,较早的是 Shanley 等,曾提出了浊流沉积出现在高水位早期<sup>[3]</sup>;Currie<sup>[4]</sup>,Lemons 和 Chan 等相继开展了同类研究<sup>[5]</sup>,指出了低水位期前积楔最发育。这些有关的观点与成果,作者颇为重视<sup>[6-9]</sup>,例如“断阶式坡折”,盆地不同演化期的层序与体系域特征,低水位盆

底复合扇包含的沉积体系(河道扇、冲积扇、三角洲前缘席状流沉积等),低水位前积楔发育的重要性,高振幅反射层的地质属性(多为密集段),受海水泛滥影响或半咸水与咸水环境的生油潜力,局部构造运动等。本文就近年工作中取得的点滴认识,探索非海相层序的成因和构型特征。

## 2 非海相沉积盆地基准面变化与层序分级

### 2.1 非海相沉积层序的控制要素

层序地层学原理之所以能在非海相沉积盆地中能够应用,其根本的原因在于相对基准面发生过周期性变化并由之引起了可容纳空间的周期性变化<sup>[6-9]</sup>。控制沉积的要素既有外旋回—具有区域性甚至全球性,又有自旋回要素—具有局部性,有时为区域性。区分外旋回和自旋回成因的层序是研究中的一大难点。目前普遍认识到非海相沉积受构造运动和气候要素的控制强烈。(1)从成因上构造运动分为区域性和局部性(表1)。局部构造运动是内旋回的主要影响因素,济阳、冀中等次级盆地的凹陷中常见北断南超或北降南隆的现象。(2)气候因素控制了高频层序和米兰科维奇旋回的发育。对于距海远封闭的内陆盆地,影响最大的是大陆气候;对于近海内陆盆地,海洋和大陆气候共同起作用。(3)在非海相沉积盆地中湖平面和河

表 1 控制非海相层序发育的要素

Table 1 Controlling factors on non-marine sequences

基区因素(外旋回为主)		局部因素(内旋回为主)	
本要素	主要控制作用	基本要素	主要控制作用
构造沉降(板块运动或区域构造运动)	可供沉积的空间迅速增长或减小	构造沉降(局部构造运动,例如褶皱、断裂、底辟、火山活动等)	局部可供沉积的空间增长或减小
海(湖)平面升降	河流平衡剖面,地层和岩相分布型式	基准面(湖平面、河流平衡剖面、潜水面)升降	地层和岩相分布型式
慢速单物源沉积物供应	沉积充填和古水深	快速多物源沉积物供应	沉积充填和古水深
海洋气候	沉积物类型,有效源岩	大陆或海洋气候	沉积物类型,有效储层
沉积环境与背景	海相沉积,层序和体系域分布	沉积环境与背景	非海相沉积,层序和体系域分布

流平衡剖面起主导因素,但海平面控制了长周期基准面的变化,并且可以影响河流平衡剖面和近海湖平面的变化。(4)多物源、沉积物供应速率高,是非海相沉积盆地的另一大特点。(5)环境控制要素,包括是开放盆地还是封闭性盆地、是在盆地的陡坡还是缓坡、是近海还是远海。环境控制了沉积物的性质、沉积类型、体系域的分布和层序特征。

## 2.2 非海相沉积盆地的基准面变化与层序级别

非海相地层的岩性和几何形态主要受相对基准面变化和沉积物供应的控制。基准面是一个动态变化的面,从陆向海,主要包括潜水面—河流平衡剖面—湖平面—河流平衡剖面—海平面。通常在地层基准面之上不发生沉积或物质的停留,在该面之下才会发生沉积和埋藏作用。在一个相对基准面的变化周期中就可以形成一个层序。巨大的全球性海平面变化可能控制了基准面的变化,例如渤海湾盆地沙一段和沙三段沉积时普遍湖平面上升,可能受到海水泛滥的影响(至少受到海洋气候的影响),以致基准面升降与全球海平面变化具有相似性,并且越近海越吻合。在济阳拗陷由近海向陆,沙四段沉积东营凹陷最厚、沾化凹陷次之、车镇凹陷较薄,这暗示着受到海平面变化的影响。在渤海湾盆地,沙四段沉积时湖平面可能高于海平面,海水的泛滥是越过海槛入湖的,海泛与大量淡水入湖可能不是同期的,所以盐度高;而在沙三期海水泛滥时,湖平面基本与海平面保持平衡,海水的泛滥可能与大量淡水入湖是同时的,所以盐度低。然而,更多的情况是基准面的变化独立于海平面变化之外,盆地间的差异也比较大。例如白垩纪时,近海松辽盆地基准面变化周期是 47 次,而海相是 36 次,距海远的二连盆地仅显示 8 次。近海内陆盆地基准面变化周期多为“四”级,例如渤海湾盆地的下辽、济阳、冀中等地下第三系一般可以识别出 17—19 个层序,平均周期为 1.2Ma,相当于海相的四级周期。

## 2.3 陆上可容空间与层序分布形式

要使沉积物堆积下来,必须有一个可供利用空间。

这个空间可以在水下,也可以在陆上。陆上可容纳空间是在新的平衡剖面和老的平衡剖面之间可供沉积物堆积的潜在空间。Posamentier 最早提出了当海湾线与平衡点重合时,会产生陆上可容纳空间,并且有某种滞后作用<sup>[2]</sup>。相对基准面的变化及其形成的可容纳空间造成了沉积地层在空间上有规律分布,这也是层序地层理论发展的精髓。

假定能够在非海相沉积盆地中找到一个相对稳定的坡折,通常以三阶坡折(一级)为参考,随着基准面从快速下降—缓慢下降—缓慢上升—快速上升—静止不动—缓慢下降,可容空间与沉积物供给发生有效的动态作用,从而形成了空间上一系列有规律分布的沉积体系。以渤海湾盆地沙四上亚段与沙三下亚段下部沉积的复合层序为例,在沙四下亚段沉积晚期,基准面快速下降,形成了区域上广泛分布的不整合,河流交错纵横、下切谷发育,可容空间的生长速率小于沉积物供给速率,在沉积中心形成了砂层很厚的“盆底扇”,随后,基准面缓慢下降或缓慢上升,可容空间的生长速率小于沉积物供给速率,沉积中心向陆迁移,普遍形成前积楔状体。该期基准面受自旋回因素的影响为主,以红粗杂沉积为主。在水进期,基准面可能受自旋回和外旋回因素共同影响,早期盐度高,膏盐在首次洪泛面附近分布很广,可容空间迅速增长;在高水位期基准面受自旋回因素的影响为主,早期可容空间的生长速率大于沉积物供给速率,以欠补偿加积式沉积为主,晚期可容空间的生长速率小于沉积物供给速率,以前积式沉积为主,并且沉积中心渐次向沉降中心迁移。

## 3 非海相沉积层序的成因特征

(1)非海相沉积层序形成于多物源、多水系的盆地中。(2)非海相沉积层序的形成和体系域的分布明显受古环境要素的控制。盆地中的“陆架坡折”,在陡坡带是生长断层;在缓坡带是古地理位置上的转折—相当于前高水位期的风暴浪基面;在断裂发育的凹陷中,呈一阶或多阶断阶式,其沉积形式分过路型和迫降型。

例如下辽河西部凹陷“沙四段”层序呈过路型,沾化凹陷北部(孤北地区)沙二上亚段与沙一段的复合层序呈迫降型(图1)。(3)非海相沉积盆地的沉积机制间接地受海平面位置的控制,或者完全不受海平面位置的控制,因此进行全球性、区域性层序地层对比为困难。但是二级旋回的可对比性强,愈近海的盆地的三级旋回的可对比性愈强。(4)基准面的相对升降变化幅度小,但是频率高、变化频繁,河流分布广泛,因此不整合的空间分布范围小。沉积物供应速度快并且以加积作用为主,盆地小而沉积物来不及分异就沉积下来,故重大界面特征不如海相明显。(5)盆地受大陆气候和海洋气候的双重影响,这是造成相对基准面变化频繁的主要原因之一。通常受海洋气候影响强烈时或者受到海泛甚至海水进侵的影响时,形成的层序与海相的可对比性强,形成的密集段生油潜力大;仅受大陆气候影响形成的层序其全球对比意义小,多具地区性色彩,其所含的密集段生油潜力小。(6)构造运动强烈,盆内的局部断裂作用、褶皱作用、盐岩或火山底劈作用以及盆地与盆地之间的调节作用等,都会引起基准面的变化。合理建立层序地层格架和基准面升降曲线,关键在于区域上的对比和盆地与盆地之间的对比。(7)准层序—准层序的形成经历了可容纳空间增加及沉积物充填的发展过程,为一个向上反映水体变浅的成因地层单元,一般以向上变粗的形式为主,在潮坪、海湾等环境中有向上变细的形式。在陆相沉积盆地中,两种形式都存在,不同处在于向上变细的形式有时占比例很大,成因上与洪水事件、密度流密切相关。(8)一个完整的层序内部的叠加模式由下而上,简单归纳为前积/加积型—退积型—加积/前积型,在地质上反映可容纳空间由迅速减小—增加—再减小的过程。这并非唯一,有时低水位体系域也有这种组合。

## 4 非海相沉积层序的体系域构成

### 4.1 体系域的分类

非海相沉积层序由几个体系域构成及其命名术语还存在争议(表2)。本文建议采用三分法和使用低水位、水进和高水位体系域的术语,原因是(1)便于与国际同类研究对接(2)有利于分体系域恢复沉积体系的展布(3)三分的各家使用了不同的术语,但是形成的沉积实体是一致的(4)层序有四分、五分的依据是体系域内部可以再分。

### 4.2 层序的性质及内部构成

非海相沉积盆地地下切河谷广泛发育,层序性质以I型为主。完整的层序应该由低水位、水进和高水位体系域组成。但是各体系域的完整性、显著性较差,体

系域的发育特征与盆地演化阶段相联系。水进和高水位体系域的特征一般与海相相近,复杂性在于低水位体系域。通常浊流沉积往往发育于水进或高水位期而并非发育于低水位期,但是在大型盆地(例如松辽盆地)或全球性/区域性基准面上升期例外。

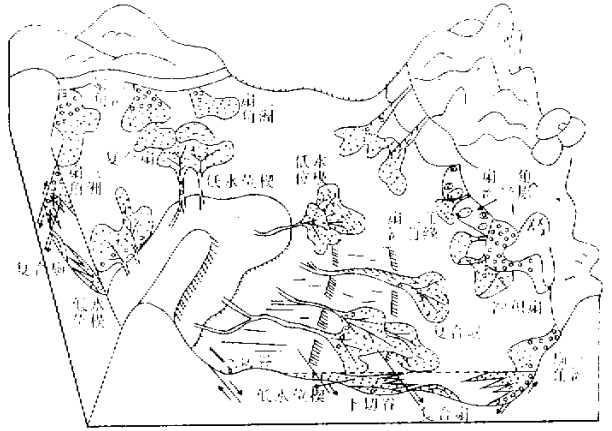


图1 孤北地区低水位体系域沉积模式示意图

Fig. 1 A depositional model of lowstand system tract in the Northern Gudao Area

### 4.3 关于低水位体系域

低水位体系域最常见的是前积楔状体和低水位扇。典型的低水位扇呈双向超反射结构等,以北部湾盆地典型,由河道扇、辫状河道、冲积扇、三角洲前缘席状流或洪水事件流沉积组成,分布于湖盆沉积中心及边界断裂的下降盘。

前积楔状体具有沉积体系的完整含义,并非是数理几何学术语。主要由远源三角洲体系(缓坡)、扇三角洲、滩坝、河流体系等,呈S形或羽状前积结构。前积楔与三角洲的差异在于,前积楔的内部构成不仅仅是三角洲,分布于远端坡折之外,而三角洲在盆地坡折之上或其下可能都会出现。从美国 Green River 和 Uintah 盆地中新世代发育的低水位体系域来看,前积楔最为发育。在盆地缓坡中,可能低水位体系域完全由前积楔组成。我国湖泊盆地中前积楔和盆底扇都比较发育,然而前积楔更靠近物源区并且埋深比较浅,勘探风险较小。

### 4.4 沉积模式

非海相沉积盆地在不同的构造演化阶段、不同的沉积盆地中,其充填物和沉积特征均有相当大的差异,很难抽象出适用于任一盆地、任一演化阶段的沉积层序和体系域模式,为了客观地重建沉积体系的空间展布和恢复古地理格局,需要以具体盆地为对象建立合理的模式。

表 2 非海相 I 型层序中体系域的分类、术语及对比

Table 2 Classification, terminology and correlation of systems tracts in type-I non-marine sequence

Vail 等的分类 (1988)	Shanley 的分类 (1994)	Currie 的分类 (1997)	Chan 的分类 (1999)	郭少斌的分类 (1997)	作者的分类 (1993, 2000)
高水位体系域	高水位体系域	加积体系域	高水位体系域	水退体系域 高水位体系域	高水位体系域
海进体系域	水进体系域	水进体系域	水进体系域	水进体系域	水进体系域
低水位体系域	低水位体系域	降积体系域	低水位体系域	低水位体系域	低水位体系域
					晚期 早期  晚期 中期 早期

## 5 非海相层序地层界面特征

(1) 重大界面特征—非海相沉积盆地的物质供应速率很高,即使在最大洪泛期也比海相高出几倍甚至几十倍,表现为旋回频率高但所含能够明确识别层序边界的信息相对较弱,故更加需要综合利用地震、测井、岩芯和露头资料进行分析,需要采用多种技术和方法反复验证。

层序边界—二级层序边界部分可能具有全球或区域可对比性,三级层序边界为局部成因。后者在某个盆地或凹陷中具有对比价值。从成因上,层序边界形成于可容纳空间突然减小(参图 1),因此层序边界的表征是地层遭受切割和暴露的各项标志。岩相突变、岩性突变、古生态突变、古环境突变、沉积构造突变、结构突变以及由之引起的地震、测井响应的变化等,实质上是可容纳空间减小的物质表现或响应。下切谷的确认很重要。识别层序边界应掌握 3 个要点:(1) 地层的不协调现象,例如地震削截、上超;(2) 下切谷,最明显的削截场所;(3) 体系域的识别和沉积组合,一个完整的层序应该由 3 个体系域组成。一个层序简单的垂向模式是前积/加积—退积—加积/前积式组合。

高振幅反射层的属性及与传统分层的对接也值得研究。将以往的分层移植到层序分层中,无疑过于简单化了。代表密集段的大多数强轴易于追踪、闭合,常误认为是层序边界,传统分层边界并非全部是层序边界。例如沾化凹陷原沙三段底界 T6 反射层是一个密集段,松辽盆地 T2 反射层(嫩二段)也是一个区域性密集段。

最大洪泛面与密集段—在湖泊盆地中比较容易识别,具有代表高可容纳空间的深水沉积和某种受到海泛影响的沉积,地球物理响应为高振幅反射层、下超面和测井低振幅。在陆上的特征是最大洪泛面附近具有河间、溢岸、洼地(炭质页岩)和决口沉积。

首次洪泛面(ffs)—为低水位体系域顶部向陆超覆最远的面,再向陆与层序边界重合。该面与层序边界

容易混淆,以致在分层中漏失低水位体系域。该面附近有内源砾石、分布较广的煤层、火山岩等,其上可能开始出现碳酸盐沉积。例如松辽盆地青山口组底 ffs 上具有小型叠层石礁。

(2) 河流与下切谷—在非海相沉积盆地中,下切谷既发育于低水位期,也发育于高水位早期。发育于高水位早期的下切谷可能为重力流水道或水下主供应水道,大部分充填物为浊积砂或浊积泥,以松辽盆地 T2 反射层附近典型。低水位期的下切谷与层序边界是同时发育的,下切谷应该分为低水位充填和水进充填两部分,由于其沉积特征难以区分,特别是在地震剖面上,故国际上的区域研究都将下切谷充填物全部归于低水位体系域(表 3)。下切谷的追踪很重要,一是其本身是隐蔽或复合圈闭发育的场所,二是可为寻找其前方的大型扇体提供方向,三是即使其没有充填砂体也可以理清物源方向。

(3) 煤层与火山岩东部盆地在层序边界或首次洪泛面处存在煤层与火山岩。例如辽河拗陷沙四段上部层序就有火山岩存在。侵入岩(基底)、火山岩床或岩墙大多数分布在不整合部位。火山灰及其蚀变的膨润土赋存于密集段附近。在辽宁西部、塔里木盆地休罗统有关层序边界处,有煤层和碳岩分布。煤层可以出现在任一体系域中,分布广泛的煤层记录了沉积事件中的间断,故 ffs 处多见。

## 6 非海相沉积层序构型特征

作者近年对济阳拗陷沾化凹陷进行了层序地层分析,结合其它地区提出以下层序构型:

(1) 冲积—河湖型:发育于盆地裂陷初期(图 2),呈双断式形态。低水位期沉积巨厚,主要由冲积红层、辫状河道组成;水进和高水位期可能出现小型湖泊。不整合在盆地边部可能几近平行于断层,高水位体系域不发育或缺失。出现在松辽盆地登娄库组以下层序和渤海湾盆地沙四下段以下地层中。

(2) 半盐湖—淡水湖泊过渡型发育于盆地裂陷早期,盆地结构呈箕状断陷(例如饶阳凹陷)或双断式

表 3 关键界面的主要识别特征

Table 3 Significant characteristics for identifying key surfaces

识别标志	层序边界	首次洪泛面	最大洪泛面
成因特征(相关沉积过程/作用)	氧化暴露、侵蚀	微弱潮汐、向陆波浪作用增强	还原低能深水环境、海泛、潮汐
滨线动态特征	向盆地迁移	向陆迁移	最靠近枢纽点
微体、超微生物特征	基本缺失	开始增加	丰度和分异度最高
微量元素特征	极少或无	开始增加	富集
地震响应	削截、上超	低水位沉积向陆超覆最远	下超面、高振幅反射层
测井响应	高阻突变为块状低阻	低阻高伽马,低振幅	高阻转化为低阻

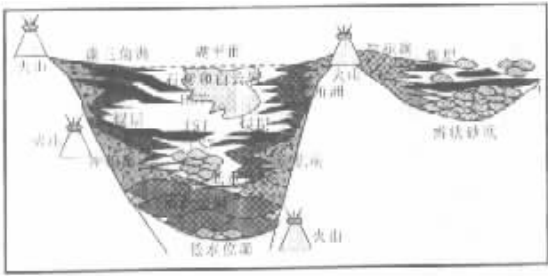


图 2 沾化凹陷北部(冲积—河湖型)砂体与沉积体系模式示意图

Fig. 2 Alluvial-fluvial/lacustrine architecture sand-body and depositional system model in the Northern Zhanhua Depression

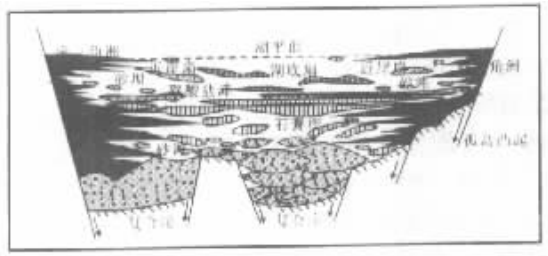


图 3 渤南—义东地区(过渡型)砂体与沉积体系模式示意图

Fig. 3 Transitional architecture sand-body and depositional system model Bonan-Yidong Area

断陷(例如沾化凹陷北部)。坡陡物源近,直接与深水区接壤。低水位体系域复合扇、辫状河道发育,以及由扇三角洲、三角洲为主体构成的前积楔,渤海湾(沙四段上段)多处见石膏楔,松辽(泉头组有关层序)见碳酸盐楔。水进和高水位体系域有滩坝、扇三角洲及其演化成的近岸扇(图 3)。

(3)海泛—深湖型:发育于盆地裂陷中期,略类似于海相被动大陆边缘背景。三个体系域发育齐全(图 4),低水位体系域可能出现盆底扇,主要为下切谷或重力流水道中的充填物,最大洪泛期有海泛(松辽盆地青一段和嫩二段,渤海湾盆地沙三段)或高可容纳空间深

水沉积。沉积物受线源断阶式坡折或点源帚状构造形态的控制。在低水位期基准面快速下降,一般下降到三阶坡折之下,大面积处于暴露或剥蚀状态,在三阶坡折之下发育低水位扇,在二阶坡折向盆发育低水位楔,一阶坡折与二阶坡折之间主要为河流下切作用,并见河床滞留砾石沉积。在相当于 Posamentier 等提出的迫降式<sup>[10]</sup>背景下,首先沉积的是三阶之下的复合扇;接着在一阶和陡坡(例如桩西及埕东大断裂下降盘)发育特殊的低水位楔—冲积扇和扇三角洲体系,而二阶坡折仅出现下切谷的充填。水进期可能发生海水进侵,基准面快速上升,下切谷充填,沙滩、砂坝、风暴砂岩等发育,还可能出现似席状浊流沉积。高水位期以水退式沉积为主,广泛发育河流、三角洲和扇三角洲体系,在二阶和三阶坡折附近发育湖底扇。在陡坡断裂带下降盘见扇三角洲滑塌形成的近岸扇,近岸扇也可以直接由陡坡物质经水道入湖而成。断阶式坡折与下切谷具有持续性的藕合关系,下切河谷在水进或高水位沉积期,于一阶坡折带上发育沙滩,于二阶坡折带发育砂坝,三阶坡折带之处(向深水区)发育湖底扇类沉积。

(4)半深湖—缓坡型:发育于盆地再裂中期,东部盆地在不同演化阶段其地貌特征及沉积体系特征也会有所变化。断陷盆地发育到一定阶段必然向断拗和拗

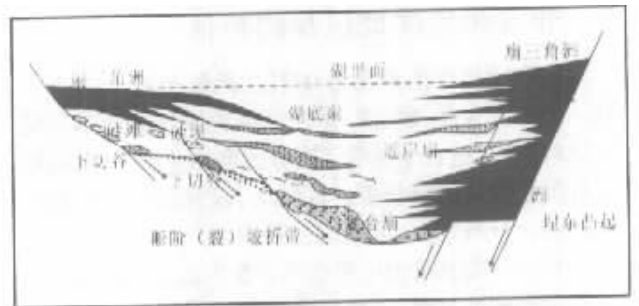


图 4 孤北地区(深湖型)砂体与沉积体系模式示意图

Fig. 4 Deep lacustrine architecture sand-body and depositional system model in the Northern Gudao Area

陷转化,从而改变了沉积环境性质及沉积机理。例如在断拗作用阶段,松辽盆地西部斜坡带形成一个小碳酸盐岩地,盆地中央发育了大庆长垣,渤海湾地区箕状断陷盆地陡坡带发育一个规模相当大的沉积背斜,背斜形同障壁岛,阻拦了沉积物的注入,陡坡带早先发育的浊积扇遂演化为扇三角洲,背斜转折点及与背斜水动力条件相当的部位发育沙滩或砂坝体系。以渤南—义东地区为例,低水位体系域分布局限,主要由沙二上段组成,其中缓坡下切谷—三角洲/低水位楔—辫状河道、复合扇组合式沉积发育,陡坡冲积扇、扇三角洲发育。水进体系域主要由沙一下段地层组成,水进期碳酸盐滩尤为发育(T2反射层附近),在浅水区几乎都可见到,其次为洪水型浊积岩、沙滩等。高水位体系域主要由原东三段地层构成,发育三角洲、扇三角洲、近岸扇等,环绕孤岛凸起发育辐射状水系,其前方为扇三角洲体系,埕东及义和庄边界断裂之下也发育扇三角洲,并可能演化为湖底扇或近岸扇(图5)。

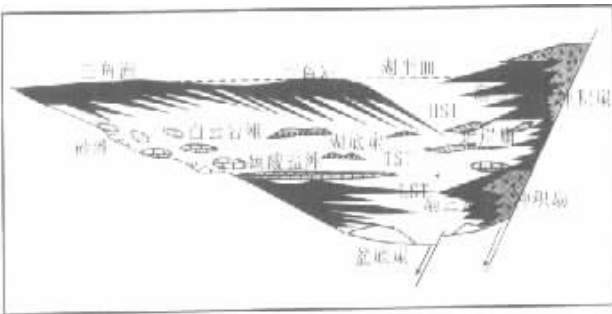


图5 罗家—邵家地区(缓坡型)砂体与沉积体系模式示意图

Fig.5 Ramp architecture sand-body and depositional system model, Luojia-Shaojia Area

(5)河流—冲积型:发育于断拗作用晚期和拗陷期,广泛形成河流—冲积沉积;以高水位体系域发育,低水位和水进体系域不发育或缺失。

## 7 非海相层序地层预测特征

层序地层的预测性体现在勘探与开发两个方面。勘探上在美、欧、亚、非的一些含油气盆地的研究中已经见效,这在于综合了高分辨率测井层序、地震层序和反射波属性分析等。区域上,以反射地震资料为主的综合分析方法,可以提高预测储层的准确度。层序地层的勘探价值主要在于寻找以低水位体系域为主体的隐蔽油气藏,因此需要把握三个关键:第一,坚持标准客观建立等时层序格架,而不是将传统分层的简单移植;第二,以层序为单位分体系域恢复所有沉积体系的分布,而不是人为地对单个扇体进行藕合。重

视低水位体系域各类砂体的勘探,特别是下切谷及其前方扇体的勘探;第三,结合含油气系统和地震岩性学,通过已经获得成功的钻井记录分析,逐个对所有砂体特别是容易漏失的低水位砂体按质量排队,最后确定勘探目标。东部盆地在低水位楔(三角洲或扇三角洲为主体)盆底扇、下切河道等发育部位,可望找到一系列隐蔽圈闭。

层序地层学在开发上的应用,主要在于提高采收率,此外在新井加密、油层扩边、储层描述、注水方案、开发设计、降低成本等方面也很有助益。目前成功案例较少,是值得重视的研究课题。

## 8 结论

(1)非海相沉积层序的形成要素既有外旋回,又有自旋回,构造和气候因素很重要,强调了环境的控制因素。(2)沉积基准面在海上表现为海平面,在陆上表现为潜水面、湖平面、河流平衡剖面。(3)在大多数情况下,内陆盆地基准面的变化不受海平面变化的控制,在全球最大海泛期有某种联系,由海向陆有滞后作用。(4)湖盆小而沉积物供应速率高,一般形成层序的数目高于海相。(5)体系域分析是高精度或高分辨率层序研究的精髓,注意低水位体系域及沉积体系的分析。(6)层序界面的成因标志包括陆上暴露、地层切割和水下侵蚀。(7)根据沾化凹陷的层序特征,提出了5种层序构型:冲积—河湖型,低水位期沉积巨厚,由红层、辫状河道组成(半)盐湖—淡水湖泊过渡型,低水位扇三角洲、石膏楔发育;海泛—深湖型,三个体系域发育齐全;半深湖—缓坡型,在ffs和mfs附近有碳酸盐沉积;河流—冲积平原型,低水位和水进体系域不发育。(8)在盆地主要发育期,线源断阶式坡折或点源断帚状构造对沉积体系有明显的控制作用,通常近湖三阶坡折附近发育复合扇、前积楔、浊积扇等,二阶坡折附近低水位期过路,其后下切谷充填、发育砂坝,近源一阶坡折附近低水位期过路(逐阶搬运)或有冲积扇(迫降型)。(9)层序地层的勘探应用在于准确划分层序,以体系域为单位恢复沉积体系,重视低水位体系域各类砂体的勘探。(10)除低水位扇外,低水位楔可以形成有利的隐蔽圈闭或复合圈闭。

### 参考文献(References)

- 1 Payton C E, Vail P R, Brown L F, Fisher W L, et al. Seismic stratigraphy—Application to hydrocarbon exploration [A]. AAPG Memoir 26. 1977. 1~355
- 2 Wilgus C K, Posamentier H W, Hastings B S, et al. 著徐怀大,魏魁生,洪卫东等译.层序地层学原理(海平面变化综合分析) [C].北京:石油工业出版社,1993. 1~51. Wilgus C K, Posamentier H W, Hast-

- ings B S *et al.* Principle of sequence stratigraphy( Analysis on Change of Sea Level [ C ]. Beijing :Petroleum Industry Press ,1993. 1 ~ 515 ]
- 3 Shanley K W and McCabe P J. Perspective on the sequence stratigraphy on continental strata [ J ]. AAPG , 1994 , 78( 4 ) :544 ~ 568
  - 4 Currie B S. Sequence stratigraphy of nonmarine Jurassic—Cretaceous rocks , central Cordilleran—basin system [ J ]. Geological Society of American Bulletin , 1997 , 109( 9 ) :1 206 ~ 1 222
  - 5 Lemons D R and Chan M A. Facies architecture and sequence stratigraphy of fine—grained lacustrine deltas along the eastern margin of Late Pleistocene Lake Bonneville , northern Utah and southern Idaho [ J ]. AAPG , 1999 , 83( 4 ) :635 ~ 665
  - 6 郭少斌. 松辽盆地南部西斜坡层序地层与油气聚集规律 [ J ]. 石油实验地质 , 1997 , 19( 4 ) :340 ~ 348 [ Guo Shaobin. Sequence Stratigraphy and Oil-Gas Accumulation Regular Pattern Around the Western Slope in Southern Songliao Basin [ J ]. Petroleum Geology Experiment , 1997 , 19( 4 ) :340 ~ 348 ]
  - 7 魏魁生 徐怀大. 华北典型箕状断陷盆地层序地层学模式及其与油气赋存体系 [ J ]. 地球科学 , 1993 , 18( 2 ) :139 ~ 149 [ Wei Kuisheng , Xu Huaida. Sequence Stratigraphic Models and Their Relationship to Oil and Gas Occurrence in Typical Faulted Basins , Northern China [ J ]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences , 1993 , 18( 2 ) :139 ~ 149 ]
  - 8 魏魁生 徐怀大. 二连盆地白垩系非海相沉积层序地层学特征 [ J ]. 地球科学 , 1994 , 19( 2 ) :181 ~ 193 [ Wei Kuisheng , Xu Huaida. Sequence Stratigraphic Features of Cretaceous Nonmarine Sediments in Erlian Basin [ J ]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences , 1994 , 19( 2 ) :181 ~ 192 ]
  - 9 魏魁生 叶淑芬等. 松辽盆地白垩系非海相沉积层序模式 [ J ]. 沉积学报 , 1996 , 14( 14 ) :50 ~ 58 [ Wei Kuisheng , Ye Shufen. Sequence Stratigraphic Models of Nonmarine Sediments in Cretaceous , Songliao Basin [ J ]. Acta Sedimentologica Sinica , 1996 , 14( 4 ) :50 ~ 58 ]
  - 10 Posamentier H W Allen G P James D P , *et al.* Forced regressions in a sequence stratigraphic framework : concepts , examples , and exploration significance [ J ]. AAPG , 1992 , 76( 11 ) :1 687 ~ 1 709

## Genetic & Architectural Characteristics of Non-marine Depositional Sequence

LI Ji-hong<sup>1</sup> WEI Kui-sheng<sup>2</sup> LI Da-liang<sup>2</sup>  
ZHANG Shou-peng<sup>3</sup> HAO Yun-qing<sup>3</sup> QIU Yi-gang<sup>3</sup>

1 ( Northwest University , Xi'an 710069 ); 2 ( China University of Geosciences , Beijing 100083 )

3 ( Shengli Petroleum Administrative Bureau Dongying Shandong 257015 )

**Abstract** Based on the geological and geophysical data , the authors summarized the applied sequence stratigraphy of non-marine basins in China. The controls on non-marine sequences included both allocyclic and autocyclic processes. The most important factors were tectonics and climate , but the environmental factor would also be taken into account. The accommodation changed periodically with changing base level , resulting in the formation of a series of genetically and spatially related depositional sequences. Basically , base level of inner continent was not controlled by changes of relative sea level. There would be some relations between changes in relative sea level and continental base level during eustasy flooding , however , a time lag existed between the changes from marine basin to inner continent basin. The lake basin was smaller than marine basin and the velocity of sedimentary supply was higher , so the numbers of non-marine sequences were much more than those formed in marine facies during the same period. We have to pay attention to recognizing the systems tracts for the study of high precision or high-resolution sequence stratigraphy , especially to analyze the lowstand systems tract with its depositional systems. The genetic characteristics of sequence boundary were subaerial exposure , stratigraphic truncation and subaquatic erosion. According to the depositional features of Zhanhua Depression , 5 sequence architectures have been provided in this paper , which are alluvial-fluvial/lacustrine architecture , transitional architecture formed between brackish lake and fresh lake , marine duration-deep lacustrine architecture , ramp architecture and fluvial-alluvial plain architecture. During the major development of non-marine basin , the step faulting breaks controlled depositional systems. Usually , lowstand complex fan , prograding wedge and highstand turbidity fan were located close to the third stepping break , it was bypass of incised valley in lowstand period and then filled with adjacent sandy bar by the second stepping break , and at the first stepping break the sediments were bypass which could form favorable subtle or complex traps as the basin floor fan , and their economic significance would be proved by boreholes in Bohai Bay Basin.

**Key words** autocycle , environment factor , lowstand wedge , faulted-steps break , equilibrium profile , sequence architecture